

Использование в конструкции поверочной установки современных средств автоматизации и материалов позволит изготовить установку на современном уровне, автоматизировать и ускорить процессы поверки, что повысит производительность установки.

Основной особенностью и отличительным качеством объекта, которые позволяют предпочесть его существующим аналогам, является возможность его производства в Узбекистане с максимальной локализацией.

#### **Список использованных источников**

1. Azimov R.K., Shipulin Yu.G., Maksudov S.A., Mahmudov M.I., Zhumaev O.A. Intellectual microprocessor testing gas measuring instrument stallations // Sixtn World Conference Intelligent Systems for Industrial Automation «WCIS–2010». Tashkent, Uzbekistan, November 25–27, 2010. P. 266–269.

2. Жумаев О.А. Вопросы разработки оптоэлектронных преобразователей рефлективного типа для газомерных устройств // Сборник МНТК «Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости Республики Узбекистан». Навои, 2011. С. 335–337.

3. Жумаев О.А. Оптоэлектронные преобразователи рефлективного типа для контроля перемещением элементов газомерных поверочных установок // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2011. № 2. С. 203–209.

4. Шипулин Ю.Г., Жумаев О.А. Микропроцессорная газомерная установка с оптоэлектронными преобразователями рефлективного типа // Стандарт. 2011. № 2. С. 32–33.

### **МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ДЛЯ ПРИБОРА-ИДЕНТИФИКАТОРА ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ**

**Александров И.А., Онуфриев В.А.**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия*

Идентификация объектов управления (ОУ) является одним из наиболее важных этапов в процедуре настройки систем автоматического управления (САУ). Экспериментальные данные об ОУ, соответствующие его текущему состоянию, дают возможность оператору или инженеру-настройщику осуществить максимально точную настройку регулятора САУ, учитывая его изменившиеся параметры. Для реализации такой процедуры необходимо иметь мобильные инструментальные средства идентификации ОУ. В настоящее время такие устройства, которые позволяют получать информацию об ОУ непосредственно на месте эксплуатации и здесь же рассчитывать его математическую модель, на рынке отсутствуют.

На кафедре ИКСУ ТПУ сделана попытка разработки такого прибора. Он позволяет по зафиксированному переходному процессу найти передаточную функцию ОУ. Состав и принцип его работы изложены в работе [1]. Для обеспечения надежной работы прибора-идентификатора необходимо не только получить модель ОУ, которая в дальнейшем будет использована для настройки регулятора, необходимо оценить точность идентификации, робастность модели, другие итоги процедуры. В работе рассматривается один вопрос из этого ряда, связанный с оценкой точности получения экспериментальной передаточной функции  $W(p)$ . Для получения такой оценки сравниваются переходные характеристики – экспериментальная и вычисленная по передаточной функции  $W(p)$ . Для получения последней требуется выполнить обращение преобразования Лапласа, т. е. найти  $h(t) = L^{-1}\{W(p)p^{-1}\}$ . В обычных условиях такая задача является достаточно простой, имея ввиду применение какой-либо компьютерной системы обращения.

В коммерческом продукте такой путь будет не лучшим, так как требует приобретения дорогостоящей лицензии. С этой точки зрения целесообразно выполнять операции обращения без привлечения стандартных математических пакетов, обращаясь к каким-либо известным алгоритмам определения оригиналов по их изображениям. Но есть и другая сторона вопроса: задача разработки таких программ является чрезвычайно сложной, требуя привлечения высококвалифицированных специалистов соответствующих математических разделов. В тоже время можно ограничиться компромиссным вариантом, учитывающим особенности задач идентификации. К ним в первую очередь относится отсутствие кратных нулей и полюсов в передаточных функциях и сравнительно низкий порядок этих функций. Наконец, имеется еще одно соображение – ориентированные на определенный круг задач алгоритмы можно конструировать экономичными в вычислительном отношении, что важно для устройств, работающих в реальном времени. Такой компромиссный вариант принят для аппаратно-программной реализации идентификатора.

Подход рассмотрим на примере частного, но все-таки часто встречающегося случая, когда ищется оригинал по изображению  $\frac{W(p)}{p} = \frac{b_1 p + b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + 1} \cdot \frac{1}{p}$ . Опыт показывает, что для экономии операций сначала необходимо определить тип звена – колебательное или аperiодическое второго порядка. Если дискриминант знаменателя  $D = \left(\frac{a_1}{2a_2}\right)^2 - \frac{1}{a_2}$  является вещественным, то корни вещественные и процесс аperiодический. Эта часть задачи решается достаточно просто по соотношению коэффициентов знаменателя (рис. 1).

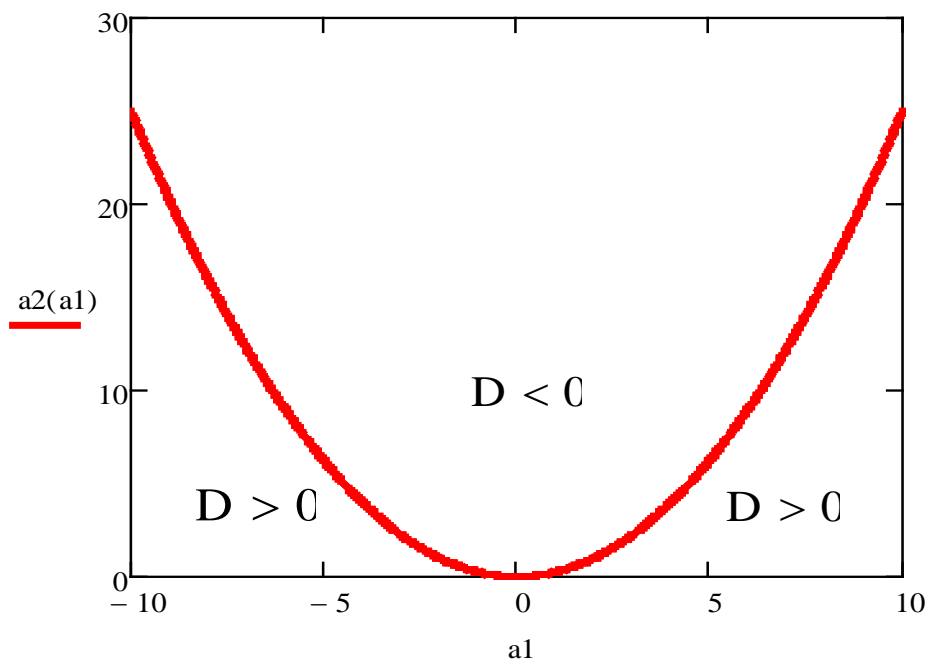


Рис. 1. Определение типа передаточной функции

Оригинал может быть найден достаточно просто, если изображение разложено на простые слагаемые. Будем иметь:

$$L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} = \frac{b_1}{a_2} \left( A_1 + (A_2 \cdot e^{\sqrt{D} \cdot t} + A_3 \cdot e^{-\sqrt{D} \cdot t}) \cdot e^{-\frac{a_1}{2a_2} t} \right), A_1 = \frac{a_2 b_0}{b_1}, A_{2,3} = \frac{-\frac{a_1}{2a_2} + \frac{b_0}{b_1} + \sqrt{D}}{2\sqrt{D} \cdot (\mp \frac{a_1}{2a_2} + \sqrt{D})} \quad (1)$$

В случае колебательного звена расчетная формула с учетом наличия комплексно-сопряженных чисел примет вид

$$L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} = \frac{b_1}{a_2} \left( A_1 + 2|A| \cos(w + \sqrt{D} \cdot t) \cdot e^{-\frac{a_1}{2a_2} t} \right), A = \frac{-\frac{a_1}{2a_2} + \frac{b_0}{b_1} + i\sqrt{|D|}}{2i \cdot \sqrt{|D|} \cdot (-\frac{a_1}{2a_2} + i\sqrt{|D|})} = |A| \cdot e^{i \cdot w} \quad (2)$$

Отметим, что в выражении (2) коэффициент  $A_1$  принимает то же значение, что и в (1).

При обращении функции  $\frac{W(p)}{p} = \frac{B(p)}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1} \cdot \frac{1}{p}$  первой возникает задача решения кубического полинома, для чего использовался метод Кардано [2]. При этом возможны 2 случая. В первом все три корня вещественные, во втором один будет вещественным, а два других комплексно сопряжены. Если все корни вещественны, то, приводя дроби, получим расчетную формулу

$$L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} = \frac{b_2}{a_3} (A_0 + A_1 \cdot e^{-p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{-p_2 \cdot t} + A_3 \cdot e^{-p_3 \cdot t}),$$

в которой коэффициенты находятся путем разложения  $\frac{W(p)}{p}$  на простые дроби:

$$A_0 = \frac{a_3 b_0}{b_2}, A_1 = \frac{p_1^2 + \frac{b_1}{b_2} p_1 + \frac{b_0}{b_2}}{p_1(p_1 - p_2)(p_1 - p_3)}, A_2 = \frac{p_2^2 + \frac{b_1}{b_2} p_2 + \frac{b_0}{b_2}}{p_2(p_2 - p_1)(p_2 - p_3)}, A_3 = \frac{p_3^2 + \frac{b_1}{b_2} p_3 + \frac{b_0}{b_2}}{p_3(p_3 - p_1)(p_3 - p_2)} \quad (3)$$

Более интересен случай, когда один из корней вещественный, а два других – комплексно сопряжены. Коэффициенты  $A_2$  и  $A_3$  в формуле (3) являются сопряженными комплексными числами. Вторая и третья экспоненты также сопряжены. Значит, как и в выражении (2) сумму комплексно сопряженных чисел можно заменить косинусной функцией.

В результате получили выражение

$$L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} = \frac{b_2}{a_3} (A_0 + A_1 \cdot e^{-p_1 \cdot t} + 2|A| \cos(w + \text{Im}(p_2) \cdot t) \cdot e^{\text{Re}(p_2) \cdot t}),$$

в котором  $A = \frac{p_2^2 + \frac{b_1}{b_2} p_2 + \frac{b_0}{b_2}}{p_2(p_2 - p_1)(p_2 - p_3)} = |A| \cdot e^{i \cdot w}$ . Подчеркнем: корни  $p_2$  и  $p_3$  – комплексные, но выражение для  $A_1$  является действительным.

#### Список использованных источников

1. Пат. 68722 РФ, МПК G05B13/00. Устройство идентификации объектов управления / Гончаров В.И. (РФ), Малиновский А.А. (РФ), Рудницкий В.А. (РФ), Джин Ил-Сонг (РК); ООО «Делик» (РФ). – №2006120066; Заявл. 07.06.2006; Опубл. 27.11.2006. 5 с.
2. Формула Кардано // Википедия. 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный.